

利用锥型换能器的宽带低损耗声表面波 滤波器设计

秦廷辉 黄广伦 曹 亮 朱 勇

(信息产业部第 26 研究所 重庆 400060)

1999 年 5 月 31 日收到

摘要 分析锥型换能器的基本原则是把换能器沿孔径方向划分成足够多的通道来进行近似, 设计制作的关键是加权技术和数据处理技巧。由于 SPUDT 的特性, 把 EWC 型的 SPUDT 引入到锥型换能器对制作宽带、低损耗器件是十分有用的; 我们在 Y128°LN 基片上采用一般型和 SPUDT 型锥型换能器制作了相对带宽约 15% 的声表面波滤波器, 一个换能器采用“块加权”, 另一个换能器采用抽指加权。文中给出了两种器件的实验结果, SPUDT 型声表面波滤波器的插损仅 7.5dB。

关键词 声表面波滤波器, 宽带低损耗锥型换能器, 加权

Design of wide-band low-loss SAW filter using tapered transducer

Qin Tinghui Huang Guanglun Cao Liang Zhu Yong

(Sichuan Institute of Piezoelectric and Acoustic Technology, ChongQing 400060)

Abstract The method for analyzing tapered transducer to divide the transducers into a large number of channels parallel to the propagation direction of the SAW. The key of design is the technology of weighting and photo masking and that of data processing. Because of SPUDT's characteristic. It is very useful to design wide-band low loss SAWF using tapered EWC- SPUDT transducer; Two kinds of SAWF using respectively usual and SPUDT tapered transducers with 15% fractional bandwidth are designed on Y128°LN. One transducer is block weighted, and the other one withdrawal-weighted. The experimental results are presented in this paper, The loss of SAWF using tapered SPUDT transducer is only 7.5dB.

Key words SAW filter, Wide band-low loss tapered transducer, Weighting

1 引言

低损耗声表面波滤波器 (SAWF) 的设计研究, 国内外有很多文章报道^[1-4], 有宽带的

也有窄带的, 但象常规 SAWF 一样设计任意带宽的还很少涉及。最近, 国外有一些专家对“锥型 (tapered) 换能器”进行了进一步研究^[5-8]。锥型换能器是由 Van den Heuvel 在

27 年前首次报道的^[9]，属于色散换能器的一种，适合于设计宽带 SAWF，同时，可以获得很小的通带波纹和很小的矩形系数以及较小的尺寸，可以应用于各种用途：数字通信、卫星通信等和常规 SAWF 一样的用途，但是在设计和实现上有很多不好解决的问题，一直没有很好的商业用途。

本文讨论了锥型换能器的基本原理和对锥型换能器的加权，以及用锥型换能器制作 SAWF 的实施方案。把单向单相换能器 (SPUDT) 引入到锥型换能器中之后，获得了宽带低矩形系数低损耗器件，文章最后给出了用锥型换能器制作的常规和低损耗 SAWF 的实验结果。

2 锥型换能器

采用锥型换能器制作的 SAWF 的结构如图 1 所示，可以看出换能器沿指条纵向方向是一边宽、一边窄，宽的一边激励的频率低，窄的一边激励的频率高，和斜指色散换能器^[10]一样属于色散换能器的一种。

把换能器沿纵向分割成很多个通道 (假设为 s 个)，当通道数足够多，也就是说每个通道的孔径足够小时，可以忽略指条不均匀的影响，把该通道看成是由均匀周期指换能器组成的。假设 A_j 为第 j 个通道的宽度 (孔径)， f_j 为第 j 个通道的声同步频率，对于不加权的 SAWF，其频响 $H(f)$ 可近似表示为：

$$H(f) = \sum_{j=1}^s A_j \cdot f^{1/2} \cdot \frac{\sin(N\pi(f - f_j)/f_j)}{N\pi(f - f_j)/f_j} \quad (1)$$

对于加权的换能器同样可得：

$$H(f) = \sum_{j=1}^s H_j(f) \quad (2)$$

$H_j(f)$ 是每一个通道的频响， $H_j(f)$ 可以用各种方法得到，我们采用的是等效电路法。划分

应用声学

通道的方法有两种：一种是等频率划分法，另一种是等孔径划分法。对于等频率划分法，对孔径为 A_0 的换能器，每一个通道的孔径为：

$$A_j(f) = \frac{f_h f_l (f_h - f_l)/s}{[f_j^2 + f_j(f_h - f_l)/s](f_h - f_l)} A_0 \quad (3)$$

式中 f_h 为高端声同步频率， f_l 为低端声同步频率。对于等孔径划分法，每一个通道的频率为：

$$f_j = \frac{s f_h f_l}{s f_l + j(f_h - f_l)} \quad j = 1, 2, \dots, s$$

每个通道的频响示意图如图 2 所示，总的响应就是这各个通道的叠加，由此可见这类 SAWF 可用较少的指对数，获得较高的矩形系数。当每个通道的中心距相同，也就是延时一样时，SAWF 的通带内相位 (θ) 斜率相同：

$$\frac{d\theta_1}{df} = \frac{d\theta_2}{df} = \frac{d\theta_j}{df} = 2\pi t_0 \quad (5)$$

式中 t_0 为 SAWF 的延时。从式 5 可知：用锥型换能器制作的 SAWF 是可获得线性相位特性的，而校正相位就可通过改变中心距来实现。

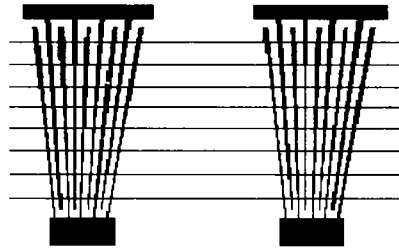


图 1 锥型换能器制作的 SAWF 的结构

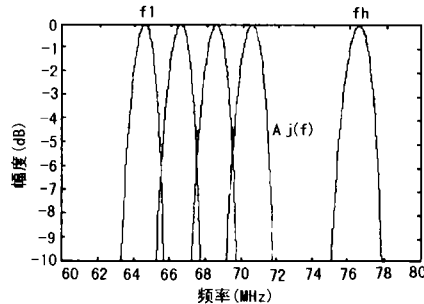


图 2 每个通道的频响示意图

3 锥型换能器的加权

用锥型换能器设计制作的 SAWF 的带外抑制是由每个通道的带外抑制所决定, 均匀指换能器的带外抑制仅 13dB, 因此, 由均匀指组成的锥型换能器而构成的 SAWF 的带外抑制也仅能达到 26dB, 如图 3 所示, 这显然是不够的, 对换能器加权是必需的。

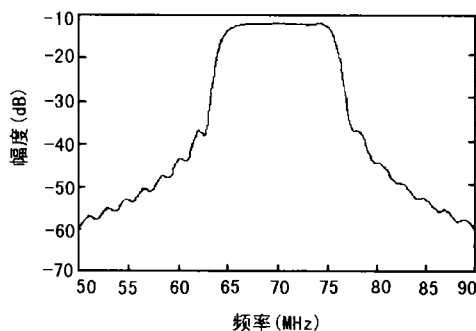


图 3 均匀锥型换能器 SAWF 频响

为了提高带外抑制而对锥型换能器加权, 一般采用等指加权, 抽指加权是一种较好的加权形式, 但是抽指加权的远端带外较差, 采用两个抽指加权是不行的, 带外也很差, 必须另外用一远端带外较好的均匀或加权换能器, 才能获得较好带外抑制的 SAWF, 我们采用了“块加权”换能器^[7], 获得了较好带外特性的 SAWF, 如图 4 所示。“块加权”在原理上类似于“分节”, 在实现上为一系列奇数个子换能器首尾相连, 在整个孔径上有着一样的声路经, 如图 5 所示, 当然这种加权非常粗糙。

4 锥型换能器的实施

锥型换能器的实施也是比较困难的, 通道数分得太多, 将使运算量变大, 而且实施时数据过大, 造成制版困难; 通道数分得太少, 又会造成实施和理论差异过大。在实作时, 我们把整个声通道划分为 100 个通道进行运算, 实施又把每个通道再划分为 5 个通道 (划分理论

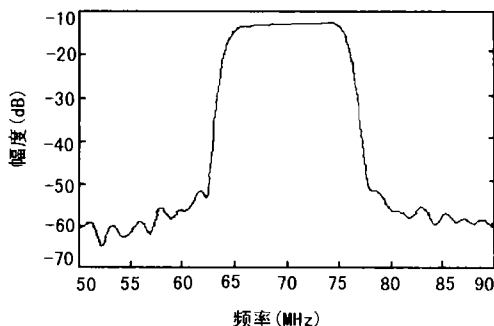


图 4 “块加权”和抽指加权组合的 SAWF 的频响

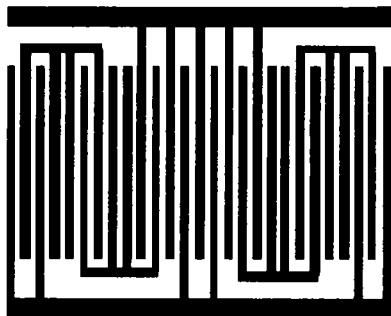


图 5 “块加权”换能器示意图

依据一样), 这样就总共分成了 500 个通道, 这样实施后实验结果和理论比较一致。

5 SPUDT 型锥型换能器

SPUDT 可以降低器件的插损和提高三次行程抑制^[11], 这是众所周知的。在实验中, 我们把电极宽度控制 (EWC) 型的 SPUDT 引入到锥型换能器中。

SPUDT 型锥型换能器对制作宽带、低损耗器件是十分有用的。常规的 SPUDT 换能器一般只适合制作 1-4% 相对带宽的 SAWF, 是因为其反射率的限制, 要想制作宽的 SAWF, 其反射率要高或反射条要多, 而带宽越宽换能器的指条就越少, 要提供大的反射就越困难。对于锥型换能器就不同了, 对每个通道而言, 其带宽很窄, 对每根指的反射率的要求相对就低得多了, 因此能提供足够的反射率, 很容易得到宽带低损耗器件。

6 实验结果

我们在 Y128°LN 基片上采用一般型和 SPUDT 型锥型换能器制作了相对带宽约 15% 的 SAWF，两种方案除了一种设计采用了 SPUDT 的概念外，其余设计完全相同，其输入输出换能器的指对数都为 32 对，孔径为 2mm，SPUDT 型换能器的反射条为 21 条，一个换能器采用“块加权”，另一个换能器采用抽指加权。一般型锥型换能器制作的 SAWF 的频响如图 6 所示，损耗 13dB，3dB 带宽 9.86MHz，30dB 带宽 13.75MHz，带内波动 1dB。SPUDT 型锥型换能器制作的 SAWF 的频响如图 7a 所示，损耗 7.47dB，3dB 带宽 10.45MHz，30dB 带宽 13.79MHz，矩形系数 1.3，带内波动 0.5dB，图 7b 为相位波动特性，图 7c 为群延时波动特性。两种器件的芯片的尺寸都为：9mm×3.8mm

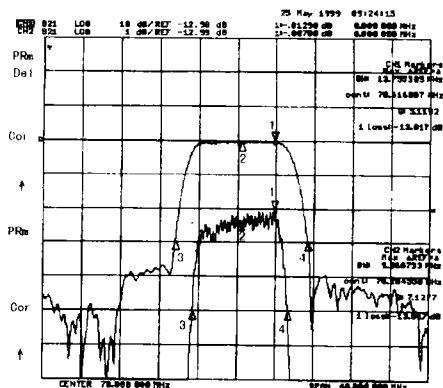


图 6 一般型锥型换能器制作的 SAWF 的频响特性

7 讨论

本文讨论了采用锥型换能器制作 SAWF，给出了实验结果。用 SPUDT 型锥型换能器制作的 SAWF 的实验结果来看，此 SAWF 具有体积小、损耗小、矩形系数好等一系列优点，具有一定的实用价值。但是这种 SAWF 的带外抑制较差是一个缺点，如能再提高到大于 40dB，就比较完美了。因此下一步努

应用声学

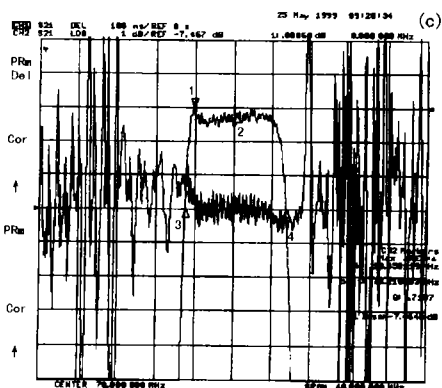
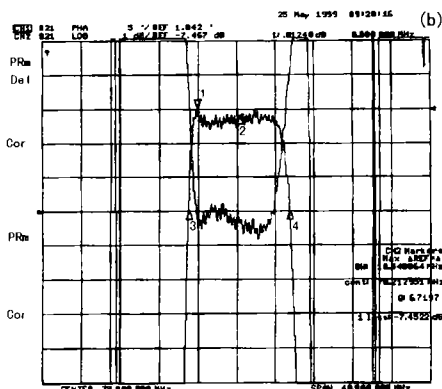
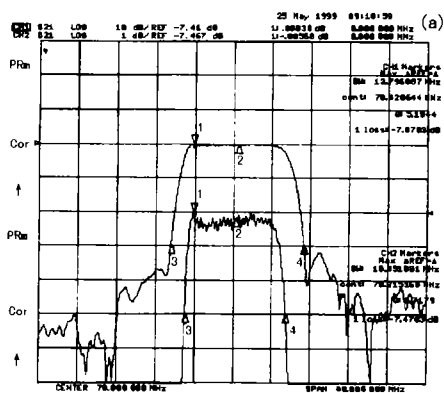


图 7 SPUDT 型锥型换能器制作的 SAWF 的特性

(a) 频响特性 (b) 相位波动特性 (c) 群延时波动特性

力的方向就是想办法提高器件的带外抑制。

参考文献

- 1 秦廷辉, 朱自湘, 周平. 压电与声光, 1998, 20(2): 77-79.

(下转第 17 页)

如同非同频双束连续波超声的垂直正交辐照^[6]，同样给出明显的化学产率增强效应，如取适当脉宽，双束同时辐照的产率可为分别辐照产率之和的 2-3 倍。

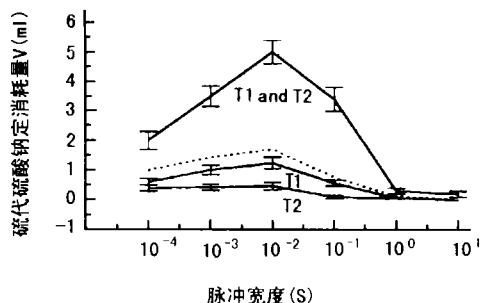


图 2 脉冲声强为 $9.4\text{W}/\text{cm}^2$ 和 $5.9\text{W}/\text{cm}^2$ 时的实验曲线

导致产率增强的原因可能为：

(a) 由于同时辐照增强了研究样品的机械扰动，从而使水表面的空气进入水中的机会增加，从而使水中更易形成更多的空化核。

(b) 空化产率主要产生于空化泡内爆瞬间形成的高温、高压等极端物理条件。当我们选用双束辐照时，各束辐照除能完成单独的空化过程，形成对空化产额的贡献 $V_1 + V_2$ 外，还能另一束超声辐照互相提供附加的空化核，

从而出现附加的空化产额贡献 $V_{12} + V_{21}$ 。

(2) 当脉冲超声辐照声强增大到一定值时，如 $9.4\text{W}/\text{cm}^2$ ，即可在脉冲宽约为 10ms 处观察到脉冲空化峰现象。双束同时辐照时可使此空化峰大大增强。可见在本实验设置的辐照情况下，产生空化峰的单束超声阈值声强大约为 $9.4\text{W}/\text{cm}^2$ ，它远比自下向上的垂直辐照阈值声强^[4]大，又远比行波场的阈值声强^[7]小。

产生脉冲空化峰的原因仍可能是脉冲重复频率与被辐照样品本征振动频率发生共振的结果。详细的理论分析工作尚待进行。

参 考 文 献

- 1 冯若. 物理学进展, 1996, **16**(3,4): 402-411.
- 2 Feng R, Wang S W, Zhu C P, et al. *Annual science Report Supplement of Nanjing University*, 1994, **30**(2): 9-15.
- 3 Wang Shuangwei, Feng Ruo, Mo Xiping. *Ultrasonics Sonochemistry*, 1996, **3**(1): 65-68.
- 4 Wang Shuangwei, Feng Ruo, Mo Xiping. *Ultrasonics Sonochemistry*, 1996, **3**(1): 69-71.
- 5 Weissler A, Cooper W, Snyder S. *Amer.Chem.Soc.J.*, 1950, **72**: 1769-1775.
- 6 冯若, 朱昌平, 赵逸云. 科学通报, 1996, **42**(9): 925-928.
- 7 Flynn H G. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1984, **76**: 505-512.

(上接第 21 页)

- 2 黄广伦, 杨毅生, 黎阳等. 压电与声光, 1994, **16**(1): 1-3.
- 3 秦廷辉, 黄广伦, 欧黎. 压电与声光, 1993, **15**(1): 9-11.
- 4 秦廷辉, 周平, 朱勇等. 压电与声光, 1998, **20**(6): 361-363.
- 5 Hiromi Yatsuda. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency control*, 1997, march, **44**(2): 453-459.
- 6 Shokichiro Yoshikawa, Hiromi Yatsuda, Osamu Yano. *The Transactions of The IEICE*, 1989, June, **E72**(6): 751-757.

- 7 Solie L. *Proc.IEEE Ultrason. Symp.*, 1998, U.1.
- 8 Campbell C K, Ye Y, Papa J S. *IEEE Trans, Sonics and Ultrason.*, 1982, July, **SU-29**(6): 224-228.
- 9 A.P.Van de Heuvel. *Applied Phys Lett*, September 1972, **21**: 280-282.
- 10 曹亮, 黄广伦, 秦廷辉. 宽带低相位波动滤波器研制. '98 全国声学学术会议论文集. 成都, 1998 年, 373-374.
- 11 Hartman C S, Abbott B P. 1989 *IEEE Ultrasonics Symposium Proceedings*, 79-89.